

高圧コンビネーションスタータ

High-tension Combination Starters

新井和夫*
Kazuo Arai

要 旨

3 kV, 6 kV 級の系統に対し高ひん度, 高寿命で保守の容易な乾式の日立高圧気中電磁接触器が開発されて早くも 10 年となるが, 生産工場の大規模化に伴い遮断容量の大きなものが要求されるようになった。しかし電磁接触器の遮断容量を大きくすることは不経済であるので, 低廉でしかも遮断容量の大きな限流ヒューズと電磁接触器を組み合わせ, 前者に短絡保護を後者に開閉および過負荷保護を分担させて使用することが考えられる。日立製作所ではいち早くこの組み合わせから起こる問題点を検討し, 試作試験の結果, 性能上の確信を得たので, 高圧コンビネーションスタータの品名で発売しており, 幸いにして各方面から好評を博している。

1. 緒 言

従来 3 kV または 6 kV 級で遮断容量が非対称値 250 MVA 以下の系統に使用される変圧器, 進相コンデンサの一次保護開閉器や, 各種交流電動機の一次開閉器としては主として油入遮断器が使用されていた。しかし油入遮断器は事故電流の遮断に主眼を置いた低ひん度形であるためプレス用や進相コンデンサ用のように開閉ひん度の高い用途, ミキサーや巻上機などの正転, 逆転をひん繁に行なうもの, トンネルファンなどで極数切換をひん繁に行なう用途については不向で寿命も短い欠点があった。また油を使用しているため油の劣化や火災の心配もあり, 多数の設備をようする工場では保守費のかさむことも無視できなくなってきた。

高圧コンビネーションスタータはこれらの欠点を一挙に解決したもので, 短絡保護を目的とした限流ヒューズと常時の開閉および過負荷保護を分担する高ひん度, 長寿命形の高圧気中電磁接触器とから構成されている。

以下に高圧コンビネーションスタータの概要と問題点について述べ, 最近ますます要望の高まった低廉, 小形集中化に対処して開発した汎用高圧コンビネーションスタータと 2 段積高圧コンビネーションスタータについて紹介する。

2. 高圧コンビネーションスタータの特長

高圧コンビネーションスタータは次のような特長をもっている⁽¹⁾。

- (1) 油を使用していないので火災や油の劣化の心配がない。
- (2) 高圧気中電磁接触器は保守が容易で, 接点の点検は前面のアーケシュートを持ち上げるだけでできる。
- (3) 高ひん度, 長寿命で経済性がある。
- (4) 小形であるが遮断容量が大きい。
- (5) 故障電流を低い値に制限し, 遮断時間も短いので回路の機器に与える電氣的, 機械的ショックを最小にとどめる。

以上のような特長をもっているため各種工業に広範囲に使用されている。使用例をあげると,

石油, 化学プラント	ポンプ, ブロワ, コンプレッサ用
製鉄, 繊維工業	ポンプ, ブロワ, M-G セット用
パルプ, 製紙工業	レファイナ, チップ, パルパ, ポンプ用
セメント工業	クラッシュヤ, ボールミル, ファン用
ゴム工業	ミキサー, シートミル用
鉱山, 炭坑	ポンプ, コンベヤ, ファン, 巻上機用
ガス工業	コンプレッサ用
ビルディング	エアコンディショナ, 冷凍機, ポンプ用

* 日立製作所日立工場

表 1 高圧コンビネーションスタータの定格性能表

定 格 電 圧 (kV)	3/3.3			6/6.6			
絶 縁 階 級	3 B			6 B			
三 相 非 対 称 遮 断 容 量 (MVA)	150 または 250 (3.45 kV にて)	250 (3.45 kV にて)	250 (3.45 kV にて)	250 (6.9 kV にて)			
限流ヒューズ定格電流 (A)	100	200	400	60	100	200	
高圧気中電磁接触器定格電流 (A)	200	200	200	200	200	200	
最大適用	全電圧起動電動機 (kW)	95	190	380	95	190	380
	変圧器, 進相コンデンサ (kVA)	300	500	750	300	500	750
開 閉 容 量 (A)	2,000			2,000			
開 閉 ひ ん 度 (回/時間)	1,200			600			
*機 械 的 寿 命 (万回)	500 (25)			250 (10)			
電 氣 的 寿 命 (万回)	50			25			

* () 内は機械的保持シャントトリップ機構の寿命を示す。

上水道, 用水 ポンプ用

そのほか, ガラス, 自動車, 成形, 食品, 薬品などの諸工業

3. 高圧コンビネーションスタータの概要

3.1 性 能

高圧コンビネーションスタータの性能のうち遮断に関するものは限流ヒューズによって定まり, 開閉に関するものは高圧気中電磁接触器によって定まる。衝撃波耐電圧試験は組立状態で高圧気中電磁接触器の主接点を閉じて行なっている。限流ヒューズの遮断容量は三相非対称値で最高 250 MVA で遮断時間は定格遮断電流付近で約 0.5 c/s である。しかも強い限流作用もあり, 遮断時の電弧エネルギーは最小にとどまり, 回路の機器や線路に電氣的ショックを与えない⁽²⁾。概略性能は表 1 に示すとおりである。

3.2 構 造

標準品は単位閉鎖配電盤 JEM 1114-A 形に相当し装置を一括して単位回路ごとに閉鎖形鋼板製キュービクルに収納されている。図 1 に標準高圧コンビネーションスタータの外観を示す。周囲条件により防じん形や屋外形も生産しており危険度の高い場所などには高圧低圧を完全に隔離し限流ヒューズ, 高圧気中電磁接触器を引出せるようにした準メタルクラッド形も生産している。図 2 は屋外形の外観を, 図 3 は準メタルクラッド形高圧コンビネーションスタータを示したものである。キュービクルの最上部に母線が貫通しその下に断路器兼用形の限流ヒューズを置き中間部には変流器, 計器用変圧器, 操作変圧器を, 最下部に高圧気中電磁接触器を置いている。気中電磁接触器は開路時のアークや短路事故時の接点跳躍によるガスが周囲の器具にかからないよう十分な空間をとっている。限

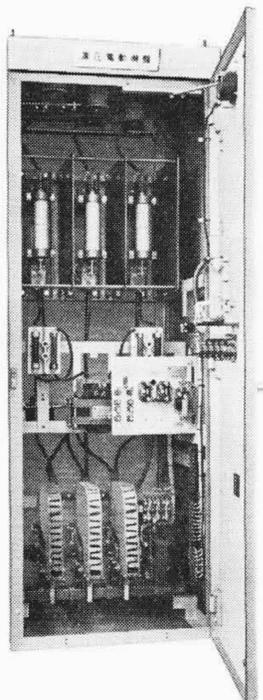


図1 高圧コンビネーションスタータ

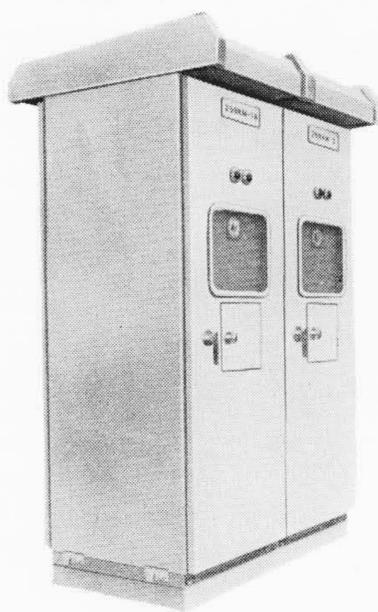


図2 屋外高圧コンビネーションスタータ

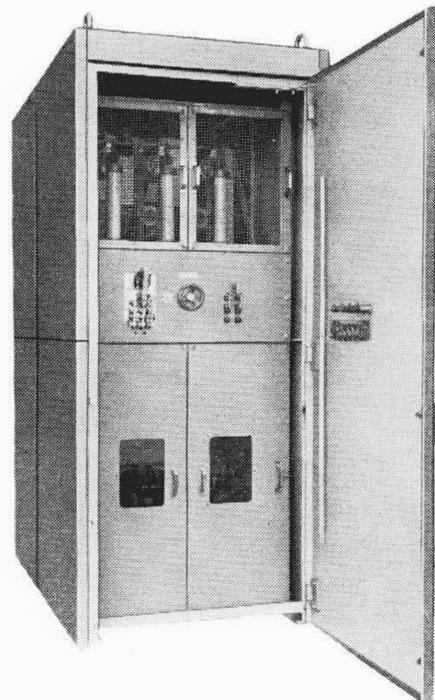


図3 準メタルクラッド高圧コンビネーションスタータ

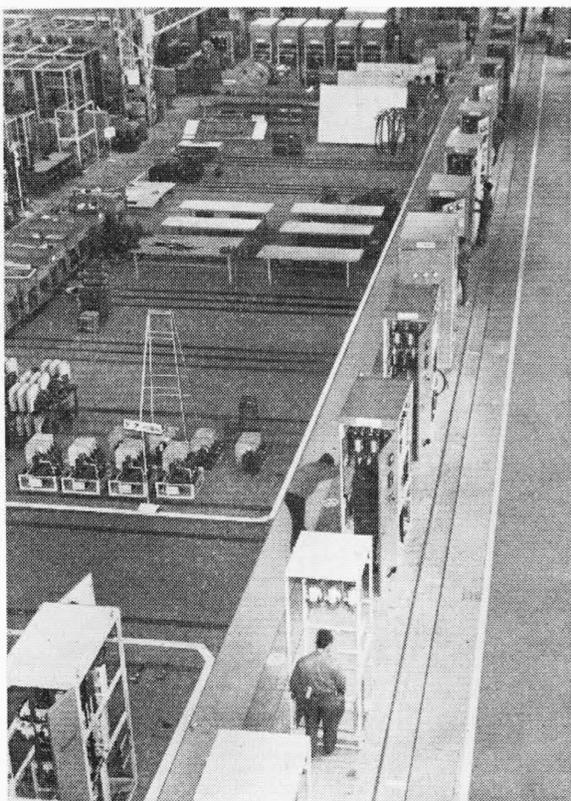


図4 稼動中のコンベア生産ライン

流ヒューズの相間は絶縁板で隔離して操作時の安全と事故の拡大防止をはかっている。点検時の安全のためにはドアを開いたら気中電磁接触器が自動遮断するようインターロックしている。なお列盤形なので移設，増設も簡単である。

3.3 配 線

母線は事故の際系統に与える影響も大きいので信頼性を増すため極間を200mmとし支持には絶縁階級6号Aの磁器がい子を使用している。また銅条は防食，温度上昇低減のためニッケルメッキをしている。

主回路電線はキュービクルを小形軽量化するため短絡時にも十分考慮をはらって絶縁電線を使用している。しかし高電圧下で，ある程度の汚損ふん囲気中，たとえばセメント，製鉄工業などの粉じんの多い所，パルプ，製紙工業などで高湿な所，石油，化学プラントなど腐食性ガスにさらされる所，ばい煙や塩風のため表面漏えい抵抗を長期にわたり高く維持できない所では特にコロナの発生およびこれに伴うオゾン作用，沿面放電によるトラッキングの発生で絶縁電線の寿命も短くなる。そのため耐トラッキング性，耐アーク

性，耐オゾン性，耐コロナ性，耐熱性，作業性などの要素を総合比較し最もすぐれたブチルゴム絶縁電線を使用している⁽³⁾。配線作業も屈曲半径を小さくとると破壊電圧が下がったり⁽⁴⁾，電線表面間隔が小さいとトラッキングが発生しやすく，アース金属や尖鋭金属に近いとコロナ開始電圧が低下するので配線作業には十分考慮をはらって劣化防止をしている。また機械的外力を受けた電線も破壊電圧が低下する⁽⁵⁾ので短絡電流が流れた際の電磁力を吸収するとともに劣化防止にも効果のある作業性の良いナイロンバンドとポリエステルモールド支持具⁽⁷⁾を使用している。

3.4 応 用 製 品

限流ヒューズと高圧気中電磁接触器と組み合わせた製品には高圧コンビネーションスタータのほか減電圧起動器としての高圧コンビネーションリアクトルスタータ，高圧コンビネーションオートコンペンスタター，高圧コンビネーションY-Δスタータ，可逆高圧コンビネーションスタータ，極数変換高圧コンビネーションスタータなどがあり広く使用されている。

3.5 寸 法

小形の気中電磁接触器と限流ヒューズを使用しているので遮断容量の大きなわりに小形である。したがって据付面積に制約のある所に特に有利である。

	幅	高さ	奥行	重量
3kV 高圧コンビネーションスタータ	800 mm	2,300 mm	900 mm	約 500kg
6kV 高圧コンビネーションスタータ	800 mm	2,300 mm	1,500 mm	約 750kg

3.6 生 産

増大する需要に対処するため組立てから検査まで一貫したコンベヤシステムによる多量生産方式を採用している。図4はコンベヤシステムによる生産状況を示したものである。

4. 高圧コンビネーションスタータの問題点

高圧コンビネーションスタータには配電盤として要求される一般の問題点のほかに次のような問題点がある。

4.1 保 護 協 調

限流ヒューズと高圧気中電磁接触器は保護協調が適切でなければならない。保護協調特性の一例を図5に示す。図5は横軸，縦軸ともlog目盛で示したものであるが，これからわかるように高圧電磁接触器の遮断容量と限流ヒューズの特性和を協調させ過負荷お

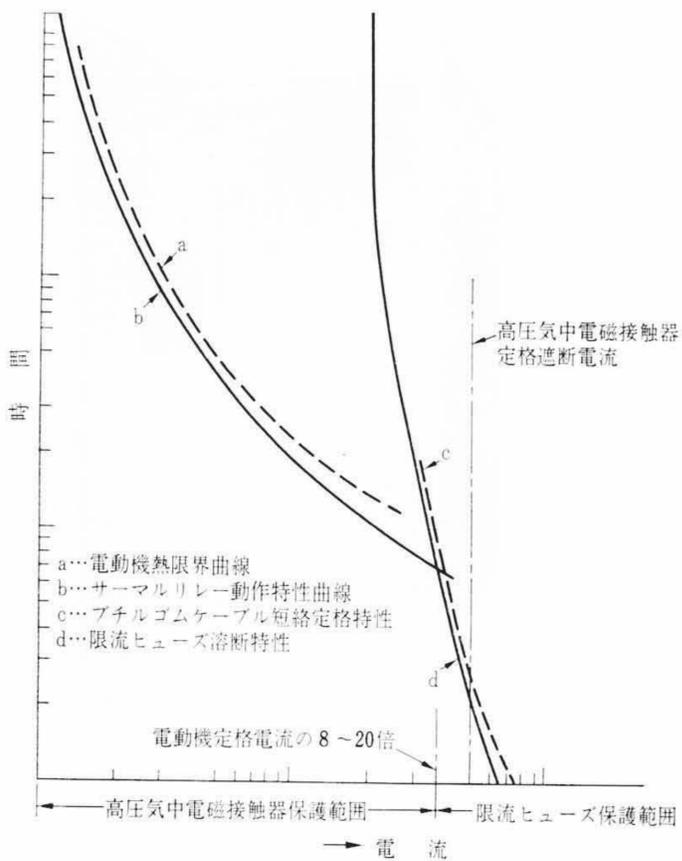


図5 保護協調特性

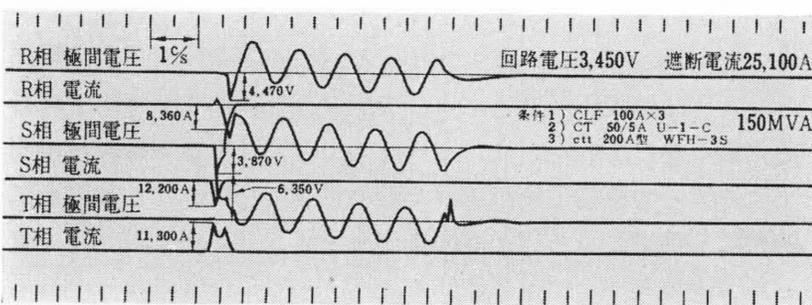


図6 遮断試験オシログラム

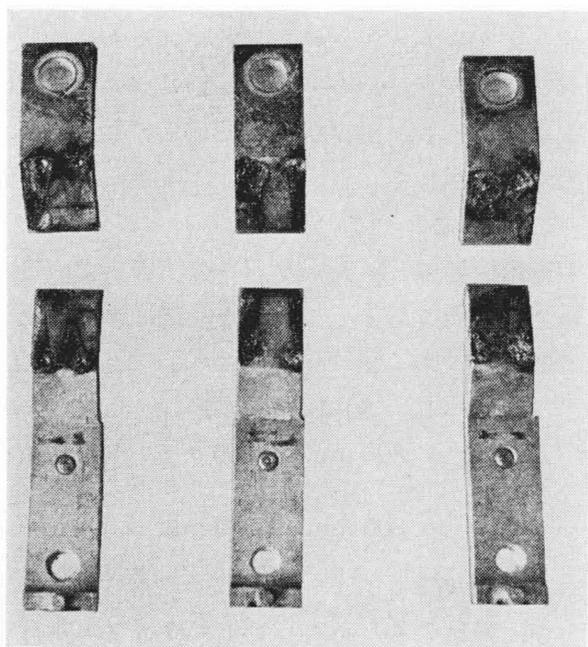


図7 遮断試験後の接点

よび短絡時の保護を十分にし機器の損傷のないよう限流ヒューズを選択している。とくに過負荷保護は被保護機器に対し過保護とならないようほぼ被保護機器の熱特性と平行するような保護リレーを使用している。短絡時には高圧気中電磁接触器には定格遮断電流をはかるかに越える電流が流れるが、実験により損傷のないことを確認しており、このときの主接点の跳躍による接触面の荒れもわずかで簡単なヤスリ仕上げで連続使用に耐えられる。図6は遮断試験の結果をオシログラムに示したものでこのときの高圧気中電磁接触器の接点の様子が図7である。この接点跳躍のため高圧気中電磁接

表2 高圧コンプレッションスタータ適用表 (1) 電動機に対する適用表

電圧 [kV]	種別	誘導電動機容量 [kW]	限流ヒューズ定格電流 (A)			気中電磁接触器 (A)	
			全電圧	リアクトル起動	起補償器	定格電流	吹消線輪
3/3.3	かご形誘導同期電動機 (2極)	25~75	100	100	100	200	100
		76~95	200	100	100	200	100
		96~150	200	200	200	200	100
		151~225	400	200	200	200	100
		226~300	400	400	200	200	100
		301~340	400	400	400	200	100
	かご形誘導同期電動機 (4極以上)	25~95	100	100	100	200	100
		96~190	200	200	200	200	100
		191~225	400	200	200	200	100
		226~280	400	200	200	200	100
		281~300	400	400	200	200	100
		301~380	400	400	400	200	200
	巻導線電形動誘機	25~95		100		200	100
		96~225		200		200	100
6/6.6	かご形誘導同期電動機 (2極)	25~75	60	60	60	200	100
		76~95	100	60	60	200	100
		96~150	100	100	100	200	100
		151~225	200	100	100	200	100
		226~300	200	200	100	200	100
		301~340	200	200	200	200	100
	かご形誘導同期電動機 (4極以上)	25~95	60	60	60	200	100
		96~190	100	100	100	200	100
		191~280	200	100	100	200	100
		281~300	200	200	100	200	100
		301~380	200	200	200	200	100
		381~500	200	200	200	200	100
	巻導線電形動誘機	25~95		60		200	100
		96~500		100		200	100
巻導線電形動誘機	25~95		60		200	100	
	96~750		200		200	100	

(注) 下記の場合は適用負荷容量が若干大きくなる。
 (1) 減圧起動時に50%タップを使用する場合。
 (2) 電動機、負荷仕様ならびに起動条件が明白な場合。

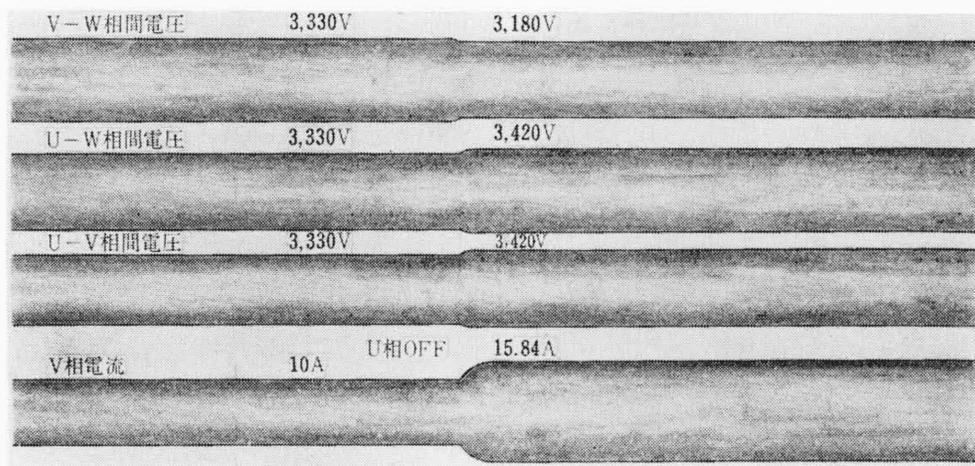
(2) 変圧器および進相コンデンサに対する適用表

電圧 [kV]	変圧器容量 [kVA]	三 相			単 相		
		限流ヒューズ定格電流 (A)	気中電磁接触器 (A)		限流ヒューズ定格電流 (A)	気中電磁接触器 (A)	
			定格電流	吹消線輪		定格電流	吹消線輪
3/3.3	25	10	200	100	30	200	100
	26~60	30	200	100	60	200	100
	61~95	30	200	100	60	200	100
	96~110	60	200	100	100	200	100
	111~165	60	200	100	200	200	100
	166~250	100	200	100	200	200	100
	251~300	100	200	100	200	200	200
	301~360	200	200	100	400	200	200
	361~500	200	200	100	400	200	200
	501~750	400	200	200			
6/6.6	25	10	200	100	10	200	100
	26~60	20	200	100	30	200	100
	61~95	20	200	100	30	200	100
	96~110	30	200	100	60	200	100
	111~165	30	200	100	60	200	100
	166~300	60	200	100	100	200	100
	301~360	100	200	100	200	200	100
	361~500	100	200	100	200	200	100
	501~750	200	200	100			

器の遮断容量を補うバックアップには必ず限流性があり遮断時間も短い限流ヒューズを使用しなければならない。変流器は通常経済的理由から耐電流強度40倍のものを使用している。試験結果では変流器定格の約200倍以上の電流値では遮断時間が短くても強い電磁力を受けて損傷する。たとえば3kV, 150MVA, 100Aの限流ヒューズに対しては50A定格以下の変流器は事故時に損傷する。重

表3 高圧コンビネーションスタータと関係機器との絶縁強度の比較

種 別	絶縁階級				
	規 格	3 A	3 B	6 A	6 B
閉鎖配電盤	JEM 衝撃波耐電圧値	45	30	60	45
	1153 商用周波耐電圧値	16	10	22	16
	使用器具				
バス支持がい子	JEM 衝撃波耐電圧値	45	45	60	60
	1144 商用周波耐電圧値	16	16	22	22
	1145 商用周波耐電圧値				
使用器具	C-6 6号A	C-6 6号A	C-6 6号A	C-6 6号A	
限流ヒューズ CLF	JEC 衝撃波耐電圧値	10	10	17	17
	113 商用周波耐電圧値				
	使用器具	LT形 3.45 kV 6号A相当	LT形 3.45 kV 6号A相当	LT形 6.9 kV 6号A相当	LT形 6.9 kV 6号A相当
気中電磁 接触器 HT. CTT	JEM 衝撃波耐電圧値	10	10	17	17
	1167 商用周波耐電圧値				
	使用器具	3.3 kV 3 B	3.3 kV 3 B	6.6 kV 6 B	6.6 kV 6 B
スパイラル ヒューズおよびCLR 用がい子台	JEC 衝撃波耐電圧値	45	45	60	60
	113 商用周波耐電圧値	16	16	22	22
	使用器具	3号A相当	3号A相当	LT形 6.9 kV 6号A相当	LT形 6.9 kV 6号A相当
変流器 CT	JEC 衝撃波耐電圧値	50	35	65	50
	143 商用周波耐電圧値	10	10	17	17
	使用器具	MC-1-C 3.45 kV 3 A	U-1-C 3.45 kV 3 B	MU-6 6.9 kV 6 A	U-6 6.9 kV 6 B
計器用 変圧器 PT	JEC 衝撃波耐電圧値	45	30	60	45
	143 商用周波耐電圧値	10	10	15	15
	使用器具	ME-1-S 3,300/110V 3 A	E-1-S 3,300/110V 3 B	ME-6-S 6,600/110V 6 A	E-6-S 6,600/110V 6 B
操作変圧器	JEM 衝撃波耐電圧値	25	25	35	35
	R 2005 商用周波耐電圧値	15	10	15	10
	使用器具	D-CC (3 A相当)	D-CC 3 B	D-CC (6 A相当)	D-CC 6 B
主回路電線	衝撃波耐電圧値				
	商用周波耐電圧値				
使用器具	LBN 6,000V用	LBN 3,000V用	裸線 支持がい子 6号A	LBN 6,000V用	



50 kW 3φIM 3.3 kV 60~89 欠相運転オンログラム
図8 電動機の欠相試験

要設備の場合には耐電流強度 300~500 倍のものを使用している。

4.2 限流ヒューズの選定

負荷の種類や大きさによって適切な限流ヒューズを選定をする必要がある。日立限流ヒューズは JEC 113 を基に製作しているが溶断特性に関してはこれに拘束されない速応形としており高圧気中電磁接触器との協調にも適し電動機用としても使えるようになっている。また通常電流をヒューズ定格の 130%、通電時間 15 秒、休止時間 300 秒の間欠線返し試験も 1 万回行なって溶断に異常のないことを確認している。

電動機の場合は起動電流が問題である。起動電流は電動機の種類、負荷、起動法によって異なるが、2 極電動機の場合には一般に起動電流が大きく起動時間も長いので最大適用容量は 4 極以上のものより小さくしてある。減電圧起動の場合にはリアクトル、補償変

圧器のタップを 35% としたときの値としてある。また巻線形電動機の場合には起動電流を電動機定格電流の約 2 倍におさえているので最大適用も大としている⁽⁶⁾。

起動時には起動電流の 150% 程度の過渡突入電流が 2 c/s くらい流れるがこれに対しても疲労により短寿命とならないよう考慮してある。

変圧器、進相コンデンサの場合には主として突入電流が問題である。突入電流は定格電流の 15 倍程度、約 2 c/s 流れるがこれに対しても溶断、疲労のない選定となっている。

以上限流ヒューズの熱容量、断続過電流通電による疲労、保護協調も考えて表 2 のように適用しており高ひん度の用途に対しても問題のない運転実績を得ている。

4.3 限流ヒューズ遮断時の異常電圧

限流ヒューズの遮断は電流の自然零値通過前に消弧を完了するいわゆる電流切断である。したがって線路や負荷のインダクタンス中の電流急変により定常状態の最大値を越える異常電圧が発生する。日立限流ヒューズは主ヒューズに並列に張った高抵抗の表示線に溶断後電流を流して電流変化をゆるくする方法がとられているので、図 6 の例のように定格電圧波高値の 2 倍以下に押えられている。高圧コンビネーションスタータの絶縁協調は表 3 のようになっており、各種負荷における遮断試験によって絶縁破壊の心配のないことが確認されている。

4.4 欠 相

限流ヒューズは 3 相同時に溶断しないことがあるので単相運転となることがある。電動機の場合には定格電流の約 200% となりサーマルリレーによって電動機の熱限界内で電磁接触器を遮断することができる。変圧器は電動機に比べ熱限界も高いのでサーマルリレーで十分保護できる。水中電動機や安全増防爆形電動機のように欠相時や拘束時の熱限界が低いものについては一般のサーマルリレーでは保護できないので反限時特性の誘導円板形過電流リレーや欠相リレーを使用している。また欠相時の高調波による共振異常電圧の発生の恐れあるときは過電圧リレーを設置すべきであるが、一般にはこのときの電圧変動は 5% 以下である。電動機の欠相試験の一例を図 8 に示す。

5. 汎用高圧コンビネーションスタータ

汎用高圧コンビネーションスタータは標準高圧コンビネーションスタータの普及形というべきもので図 9 のように変流器、計器用変圧器、操作変圧器、補助接触器、サーマルリレーなどを高圧気中電磁接触器下部のわくに一括取り付けとした多量生産向構造⁽⁸⁾のものである。このため付属器具に制約があり、使用者の意向や納入実績から生産機種を数種に限定し、変流器、計器用変圧器は JIS 3 級とするなど、性能を低下させずに経済的なものとしている。

6. 2 段積高圧コンビネーションスタータ

高圧盤にあっても小形、集中化の要求が高まりつつあり図 10 のように高圧のコントロールセンタともいべき 2 段積高圧コンビネーションスタータを開発した。図 11 はその内観を示したものである。

これは 2 個の積み重ねたユニットスタータと背面電源部より成り幅と高さは標準高圧コンビネーションスタータと同じで列盤幅を従

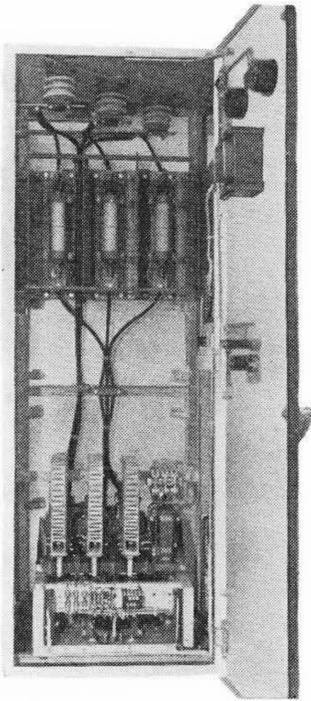


図9 汎用高圧コンビネーション
スタータ

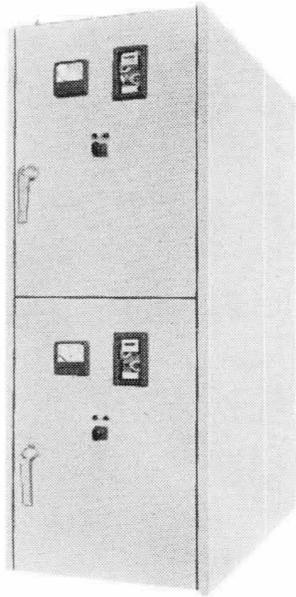


図10 2段積高圧コンビネーション
スタータ

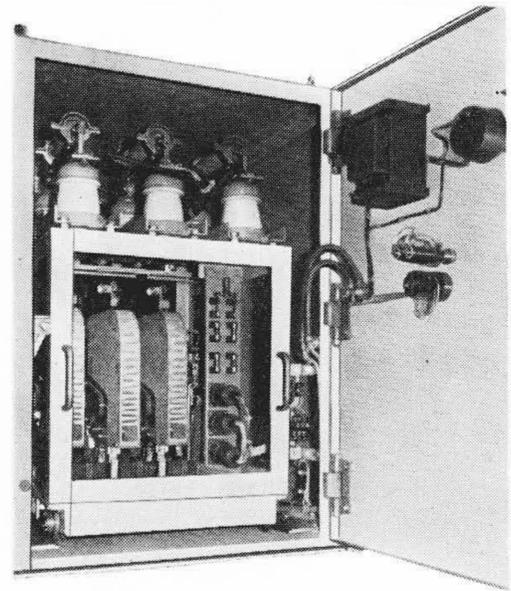


図11 2段積高圧コンビネーション
スタータ上部ユニット内観

来の1/2にすることができる。ユニットスタータは限流ヒューズと高圧気中電磁接触器を同一台車に積載した可動引出部と変流器、配線引出部などの固定部から成る。高圧回路は点接触形のジャンクション、低圧回路はプラグジャック式でアースシューもついている。背面ユニットには二つのユニットスタータに共通の操作電源と計器用変圧器が収納されている。

引出の際はまずドアを開くとドア開閉器により高圧気中電磁接触器は自動遮断され、次いでフック棒により台車を引き出すことができる。台車は接続位置、断路位置においてそれぞれ機械的に固定でき高圧気中電磁接触器の開閉試験は断路位置においても可能である。また高圧気中電磁接触器は前面に出してあるので外部に引き出さなくても接点の点検、保守ができて便利である。上部ユニットの引き出しの際には専用のトラバーサを使用する。

短絡事故の際の高圧気中電磁接触器主接点の跳躍により発生するイオン化されたガスの絶縁破壊電圧は清浄な空気に比べてはるかに低いので2段積のように小形化した場合には特に注意する必要がある。地絡や相間短絡によってユニットを損傷させないように、裸導電部や接地金属と離隔すべきである。特に限流ヒューズの電源側、すなわち母線に対してはヒューズ溶断によって事故の波及しないような構造、器具配置や配線としなければならない。このため限流ヒューズを高圧気中電磁接触器の上部に置き、接触器の上面、背面、側

面は金属板でおおっている。さらに限流ヒューズの相間にバリヤを設け接触器後部の主回路電源クリップには絶縁キャップをきせている。このような設計によって3.3 kV 非対称値 250 MVA までの遮断試験を実施し問題のないことを確認している。

7. 結 言

以上高圧コンビネーションスタータの概要について説明したが、産業の発達につれその応用はますます拡大するものと考えられる。本論文が高圧コンビネーションスタータを採用、計画するにあたり参考になれば筆者の幸いとすところである。

終わりにのぞみ設計に、試験にご指導と協力をいただいた日立製作所日立研究所鷲谷氏、富原氏、国分工場能課長、日立工場金原課長、中山課長に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 松村：日立評論 42, 953 (昭 35-9)
- (2) 福西, 小林, 鴨志田：日立評論 28 (昭 21-10)
- (3) 渡辺：日立評論 別冊 35, 78 (昭 35-5)
- (4) 富田, 橋本, 加藤, 佐藤：電気四学会論文 905 (昭 36)
- (5) 吉岡, 今井, 卜部, 桑原：電気四学会論文 667 (昭 33)
- (6) 岩城, 新井, 和田：OHM 50-2 69 (昭 38-2)
- (7), (8) 実用新案出願中